

飴にクエン酸を添加した場合の歯垢pHの変化に及ぼす影響-特に水素イオン濃度測定による評価方法について-

著者	張 平
雑誌名	東北大学歯学雑誌
巻	15
号	1
ページ	74-83
発行年	1996-06
URL	http://hdl.handle.net/10097/31538

原 著

飴にクエン酸を添加した場合の歯垢 pH の 変化に及ぼす影響

—— 特に水素イオン濃度測定による評価方法について ——

張 平

東北大学歯学部口腔生化学講座

(指導: 山田 正教授)

(平成 8 年 4 月 18 日受付, 平成 8 年 5 月 13 日受理)

Effect of the addition of citric acid to candy on plaque pH *in vivo*

—— Evaluation systems using hydrogen ion concentrations ——

Ping Zhang

Department of Oral Biochemistry, Tohoku University School of Dentistry

(Director: Prof. Tadashi Yamada)

Abstract: Acid production by bacteria in dental plaque is a direct cause of dental caries. To evaluate the acidogenicity of candies (with and without citric acid), the in-dwelling electrode method, which is a widely used procedure, was employed in this study. The inhibitory effect of adding citric acid to candies on the fall in plaque pH was confirmed by increasing the number of subjects. Three different systems were used to measure acidogenicity in terms of the minimum pH reached, the extent of the fall in pH below 5.5, 6.0 and 6.5, and the hydrogen ion concentration after the use of candies. Among the systems tested, the measurement of hydrogen ion concentrations in dental plaque was considered the most suitable.

The drop in pH in dental plaque after rinsing with a candy solution (containing citric acid) was more pronounced than after sucking candy containing the same constituents. This clearly showed that the form of foods is an important determinant of their cariogenicity. It also indicated the importance of saliva secretion in the pH drop in dental plaque. The addition of citric acid to candies increased the flow and buffering activity of saliva.

Key words: acidogenicity, candy with added citric acid, plaque pH, salivary secretion rate, hydrogen ion concentration

緒 言

歯垢における酸の産生は齲蝕の発生に必須の条件であるので, *in vivo* の酸産生性実験で pH が低下しないような食品は, 非あるいは低齲蝕誘発性であると考えられる¹⁻⁴⁾。そこで, 食品の素材に酸発酵性のないものを用いたり, 種々の物質を添加することにより, 歯垢

pH の低下を抑制する方法が試みられている⁵⁻¹⁰⁾。

一方, 電極内蔵法による食品の酸産生性を評価するのに, これまで様々のパラメーターが用いられてきた¹¹⁻¹⁸⁾。最も一般的に用いられているパラメーターは, 最低 pH, pH の面積値 (特定の pH と pH 変化曲線で囲まれた部分の面積) などである。このような試みがなされたのは, 同じ最低 pH 値を示した食品でも,

低 pH の持続時間が異なれば、酸産生性(齲蝕誘発性)が同一であるとは評価し得ないためである^{19~22)}。

高橋²³⁾は、歯垢内の pH 変化曲線から水素イオン濃度の増加速度を求めることにより、歯垢の糖代謝活性を明確に表せることを報告した。さらに、畑²⁴⁾は、同一歯垢を用いて各種の糖から産生された酸を水素イオン濃度に換算して初期酸産生率として評価検討した。これらの方法は、代用糖等の酸産生性そのものの評価には優れた方法である。しかし、唾液分泌促進作用のあるフレーバーが食品などに加えられた場合には、唾液分泌の効果が評価対象外となるため、適切な評価方法とは言い難くなる。

飴など砂糖を含む食品、ことに間食として食べられるスナック類は齲蝕誘発性が高い。そのため、種々の代用甘味料を使用することにより、齲蝕誘発性の低いスナック類の製造が試みられている。飴などに酸味を与えるフレーバーとして、クエン酸はよく用いられているが、酸そのものを加えるため、これは食品の齲蝕誘発性を上げるものと考えられがちである。

著者は前報¹⁰⁾において、飴に適量のクエン酸を添加した場合、クエン酸の酸味により唾液の分泌が促進され、増加した刺激唾液の酸中和作用によって歯垢 pH の低下が抑制されることを報告した。本研究の目的は、クエン酸を含む飴を摂取したときの歯垢内の pH 低下

の抑制が個人差によらない普遍的なものであることを、種々の評価パラメーターを用いて確認するとともに、これらの評価パラメーターの得失を検討することである。

材料ならびに方法

1. 材料および歯垢下 pH 測定装置

実験には前報と同様、還元麦芽糖水飴(キャンディメイト: 東和化成工業)に5%スクロースを加え2%クエン酸を添加した飴とクエン酸を添加しない飴の2種類(各2.5 g)を用いた¹⁰⁾。水素イオン感受性電解効果トランジスター電極(日本光電工業)を組み込んだ歯垢 pH 測定装置を前報と同様、被験者の上顎第一大臼歯頬側面に設置した^{25,26)}。

2. 実験対象および歯垢下 pH の測定

被験者は、未処置齲歯のない成人男性3名(23歳, 22歳, 41歳)、女性1名(39歳)の計4名である(以後、被験者A、被験者B、被験者C、被験者Dと略す)。歯垢 pH 測定装置を上顎第一大臼歯頬側面に3~4日間装着し、電極上に歯垢を形成させた後、各試料摂取後の歯垢 pH の変化を30分間にわたり経時的に測定した。飴の場合には各被験者の通常のなめ方により摂取

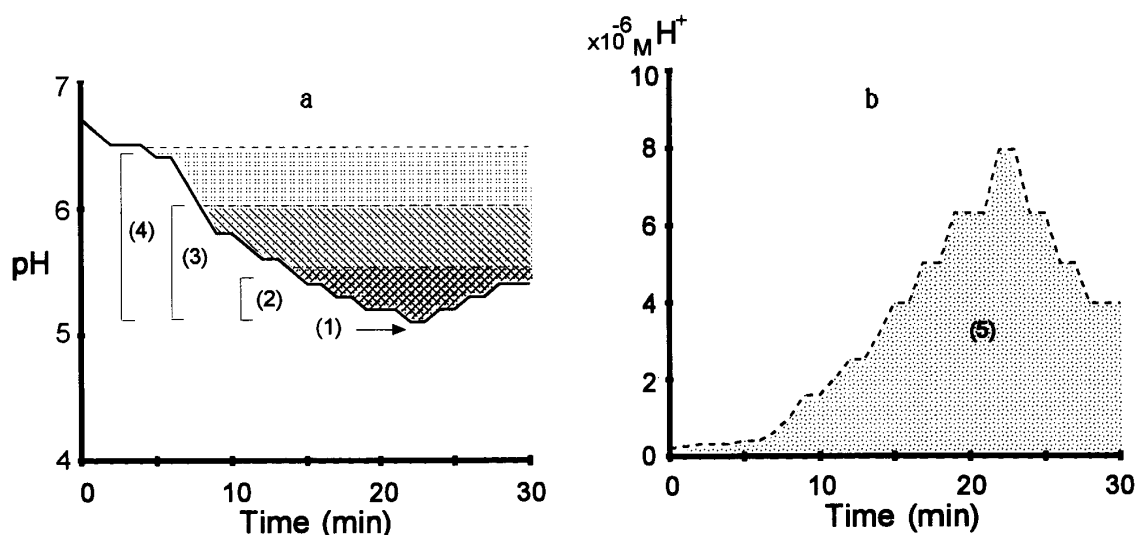


図1 歯垢の pH 低下ならびに水素イオン濃度の増加に関する評価項目

- a: (1) 最低 pH 値
 (2) pH 5.5 以下の面積値 (pH・min)
 (3) pH 6.0 以下の面積値 (pH・min)
 (4) pH 6.5 以下の面積値 (pH・min)
 b: (5) 水素イオン濃度の総和 ($\times 10^{-6} \text{ M} \cdot \text{min}$)

させた。また、クエン酸を含む飴 1 g を 10 ml の脱イオン水に溶かした溶液で 2 分間洗口させた。なお、コントロールとして 10% スクロース溶液 10 ml で同様の実験を行った。

3. 歯垢の pH 低下ならびに水素イオン濃度の増加に関する評価

実験によって得られた 30 分間にわたる pH 変化曲線をもとに、各試料摂取後の最低 pH 値、pH 変化曲線と pH 6.5 の線で囲まれた部分の面積(以後、pH 6.5 以下の面積値とよぶ)、そして同様に pH 6.0 以下の面積値、pH 5.5 以下の面積値を求め、評価のためのパラメーターとした(図 1a)。また、実験によって得られた pH 測定値を、計算により水素イオン濃度に変換した。そして 30 分間の水素イオン濃度の総和を求め、新たなパラメーターとした(図 1b)。以上の 5 つのパラメーターについて、各被験者の平均値を算出し、クエン酸を添加した飴とクエン酸を添加しない飴をなめた場合の相違、クエン酸を添加した飴をなめた場合と飴溶解液で洗口した場合の相違を検討した。統計学的検討には paired t-test を用いた。

4. 唾液の分泌量および唾液の緩衝能の測定

唾液の分泌量を測定した各被験者は歯垢下 pH の測定を行った被験者と同一である。各被験者には測定開始 1 時間前から、飲食物を摂取しないように指示した。水でよく洗口した後、嚥下を禁じ、できるだけ自然な状態で、あらかじめ重量を測定したガラスビーカーに 1 分毎に口腔内に溜った全ての唾液を吐き出させて採取した。ビーカーの重量を差し引いた重量を安静時唾液分泌量とした。また、それぞれの飴をなめている間、そしてなめ終わってから 5 分間にわたって 1 分毎の唾液分泌量を同様の方法で測定した。なお、それぞれの飴をなめ終わるのに要した時間も測定した。

それぞれの飴に関する実験終了後には、水でよく洗口し、10 分間休憩後、次の測定を行った。

安静時唾液、飴をなめているときの唾液、飴をなめ終えてから 5 分後の唾液を採取し、それぞれの緩衝能を測定した。緩衝能の測定は各唾液 0.5 ml に同量の脱イオン水を加え、0.002N HCl 溶液を加えて、そのときの pH 値を測定することによって行った。

結 果

1. クエン酸を添加した飴とクエン酸を添加していない飴をなめた場合の歯垢 pH の変化並びに水素イオン濃度の変化

4 人の被験者による 2% クエン酸を添加した飴と添加しなかった飴をなめた場合の最低 pH、pH 5.5 以下の面積値、pH 6.0 以下の面積値、pH 6.5 以下の面積値を表 1(a)、(b) に示した。いずれの評価項目においても 2% クエン酸を添加した 5% スクロースを含む飴の方が、クエン酸を添加しなかった場合の 5% スクロースを含む飴よりも歯垢 pH の低下の程度が小さいことが判明した。また、水素イオン濃度の総和について検討した場合にもクエン酸を含む飴を摂取した場合の方が、クエン酸を含まない飴を摂取したときよりも 70% ほど低くなることが判明した(表 1(a))。

クエン酸を含む飴とクエン酸を含まない飴をなめた場合の歯垢内 pH 変化と水素イオン濃度の変化の一例を図 2 に示した。いずれの飴をなめた場合においても、飴をなめている間の水素イオン濃度の増加速度は飴をなめ終えた後より小さかった。飴をなめ終えてから約 5 分間はどちらの飴の場合でも水素イオン濃度の増加速度はほぼ等しかったが、その後クエン酸を含む飴の場合には水素イオン濃度の増加がほとんど認められないのに対して、クエン酸を含まない飴をなめた場合には水素イオン濃度の増加速度が衰えないことがわかった。

2. 摂取方法の違いによる歯垢内 pH の変化並びに水素イオン濃度の変化

クエン酸を含む飴について、それをなめた場合とあらかじめ溶解した液で 2 分間洗口した場合の歯垢の pH 変化について検討した。すなわち、同一素材について摂取方法を変えた場合の歯垢 pH の変化についての検討である。その結果、飴としてなめた場合よりも飴溶解液で洗口した場合の方が歯垢の最低 pH 値が低く(表 2(a))、pH 5.5 以下の面積値、pH 6.0 以下の面積値、pH 6.5 以下の面積値が大きくなることがわかった(表 2(b))。また、水素イオン濃度の総和についても飴溶解液で洗口した場合の方がはるかに高い値を示した(表 2(a))。ただし、飴溶解液で洗口したときの結果についてコントロールとして行ったスクロース溶液で洗口したときの結果と比較検討した場合、最低 pH は飴溶解液で洗口した場合に低かったが(表 2(a))、各 pH

表 1(a) 飴をなめた場合の歯垢の最低 pH および水素イオン濃度の総和

被験者	最低 pH			水素イオン濃度の総和 [$\times 10^{-6}$ M \cdot min]		
	飴		10% sucrose 溶液で洗口	飴		10% sucrose 溶液で洗口
	クエン酸を含む	クエン酸を含まない		クエン酸を含む	クエン酸を含まない	
A (n=3) ^a	5.81 ^b	5.23	4.60	21.2	82.2	524
B (n=3)	5.56	5.20	4.73	43.5	128	410
C (n=1)	5.70	5.15	4.80	45.9	92.9	305
D (n=2)	6.08	5.73	4.80	13.5	35.2	294
平均値 \pm SD	5.78 \pm 0.21	5.32 \pm 0.24	4.72 \pm 0.18	26.6 \pm 14.2	88.3 \pm 39.0	410 \pm 237

a: 測定回数

b: 平均値

統計学的有意差あり (* $p < 0.01$)

表 1(b) 飴をなめた場合の歯垢 pH 5.5, 6.0, 6.5 以下の面積値

被験者	pH 5.5 以下の面積値 [pH \cdot min]			pH 6.0 以下の面積値 [pH \cdot min]			pH 6.5 以下の面積値 [pH \cdot min]		
	飴		10% sucrose 溶液で洗口	飴		10% sucrose 溶液で洗口	飴		10% sucrose 溶液で洗口
	クエン酸を 含む	クエン酸を 含まない		クエン酸を 含む	クエン酸を 含まない		クエン酸を 含む	クエン酸を 含まない	
A (n=3) ^a	0	1.60 ^b	17.7	0.97	11.0	32.7	11.2	17.9	47.7
B (n=3)	0	5.00	15.2	5.26	16.0	30.2	17.3	28.5	45.2
C (n=1)	0	2.50	13.2	5.70	12.5	28.7	19.0	24.5	44.2
D (n=2)	0	0	8.46	0	3.25	27.7	4.45	14.1	28.5
平均値 \pm SD	0	2.48 \pm 2.32	15.3 \pm 5.14	2.71 \pm 2.63	11.1 \pm 5.10	30.3 \pm 5.12	12.6 \pm 6.04	23.9 \pm 5.91	45.4 \pm 5.10

a: 測定回数

b: 平均値

統計学的有意差あり (* $p < 0.02$, ** $p < 0.01$)

以下の面積値は、ともにスクロース溶液で洗口したときの方が大きな値を示した(表 2(b))。水素イオン濃度の総和に関しても、統計学的有意差は認められないもののスクロースで洗口した場合に高い値を示す傾向がみられた(表 2(a))。

被験者 C によるクエン酸を含む飴をなめた場合と飴を溶かした溶液で洗口したときの歯垢内 pH の変化と水素イオンの増加変化を図 3 に示した。クエン酸を含む飴を溶かした溶液で洗口している間に歯垢中の水素イオン濃度がきわめて高くなることがわかった。

3. 唾液の分泌速度および緩衝能

飴をなめているときの 1 分毎の唾液の分泌量は安静時唾液の値より 6~9 倍に増加した(表 3)。刺激唾液の分泌量にはクエン酸を含む飴とクエン酸を含まない飴の間に有意な差が認められ、クエン酸を含む飴をなめたときの唾液の分泌量はクエン酸を含まない飴より 1.2~1.5 倍高いことがわかった。しかし、それぞれの飴をなめ終えた後の唾液の分泌速度には差がみられなかった。

表 2(a) クエン酸を含む飴をなめた場合と飴溶解液で洗口した時の歯垢最低 pH および水素イオン濃度の総和

被験者	最低 pH			水素イオン濃度の総和 [$\times 10^{-6}$ M \cdot min]		
	飴をなめる	飴溶解液で洗口	10% sucrose 溶液で洗口	飴をなめる	飴溶解液で洗口	10% sucrose 溶液で洗口
A (n=3) ^a	5.81 ^b	4.63	4.60	21.2	211	524
B (n=3)	5.56	4.30	4.73	43.5	237	410
C (n=1)	5.70	4.30	4.80	45.9	215	305
D (n=2)	6.08	4.28	4.80	13.5	223	294
平均値 ±SD	5.78±0.21	4.40±0.24	4.72±0.18	29.6±14.2	222±35.9	411±237

a: 測定回数

b: 平均値

統計学的有意差あり (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

NS: 統計学的有意差なし

表 2(b) クエン酸を含む飴をなめた場合と飴溶解液で洗口した時の歯垢 pH 5.5, 6.0, 6.5 以下の面積値

被験者	pH 5.5 以下の面積値 [pH \cdot min]			pH 6.0 以下の面積値 [pH \cdot min]			pH 6.5 以下の面積値 [pH \cdot min]		
	飴		10% sucrose 溶液で洗口	飴		10% sucrose 溶液で洗口	飴		10% sucrose 溶液で洗口
	なめる	洗口		なめる	洗口		なめる	洗口	
A (n=3) ^a	0	7.70 ^b	17.7	0.97	19.9	32.7	11.2	35.2	47.7
B (n=3)	0	8.40	15.2	5.26	23.4	30.2	17.3	38.6	45.2
C (n=1)	0	6.30	13.2	5.70	20.5	28.7	19.0	36.0	44.2
D (n=2)	0	6.70	8.46	0	12.2	27.7	4.45	33.4	28.5
平均値 ±SD	0	7.54±1.44	15.3±5.14	2.71±2.63	20.5±2.54	30.3±5.12	12.6±6.04	35.7±2.49	45.4±5.10

a: 測定回数

b: 平均値

統計学的有意差あり (* $p < 0.01$)

また、各被験者のそれぞれの飴をなめるのに要した時間は約 6 分であり、クエン酸を含む飴とクエン酸を含まない飴をなめるのに要した時間には差がないことがわかった。

飴をなめている間に分泌された唾液の緩衝能は、なめ終えてから分泌された唾液の緩衝能より明らかに高いことがわかった。しかし、クエン酸を含む飴をなめた場合に分泌された唾液とクエン酸を含まない飴をなめた場合に分泌された唾液の緩衝能には差がないこと

がわかった (図 4)。また、それぞれの飴をなめ終えてから 5 分後に分泌された唾液の緩衝能にも差がなかった。

考 察

著者は、前報¹⁰⁾で、飴にクエン酸を添加することによって、それが摂取されるときに唾液の分泌が促進され、かえって歯垢の pH 低下を抑制することを報告し

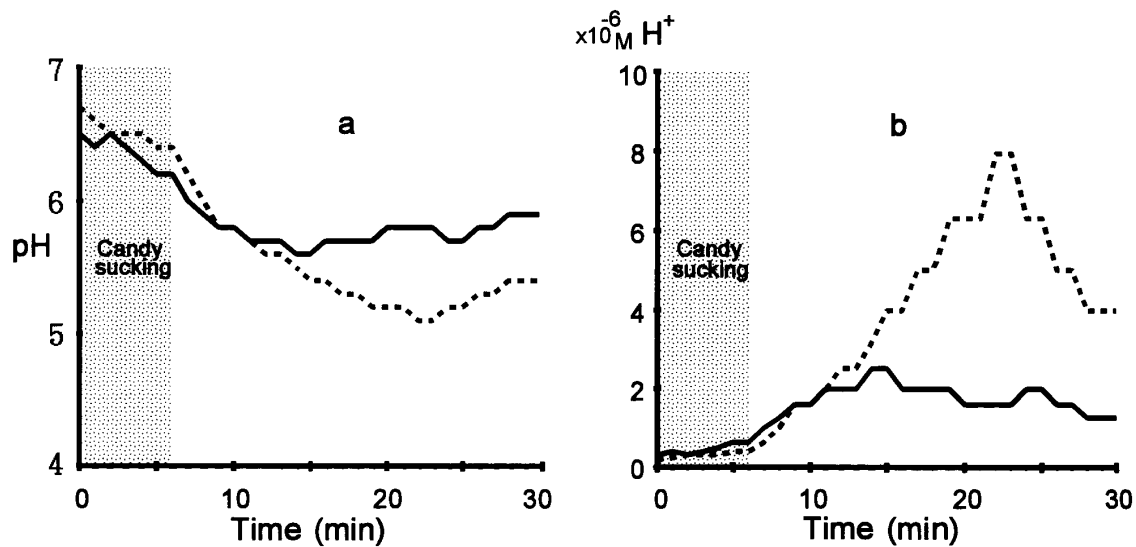


図2 クエン酸を含む飴とクエン酸を含まない飴をなめた場合の歯垢 pH(a) および歯垢の水素イオン濃度の変化 (b) (被験者 C)

——: クエン酸を含む飴
-----: クエン酸を含まない飴

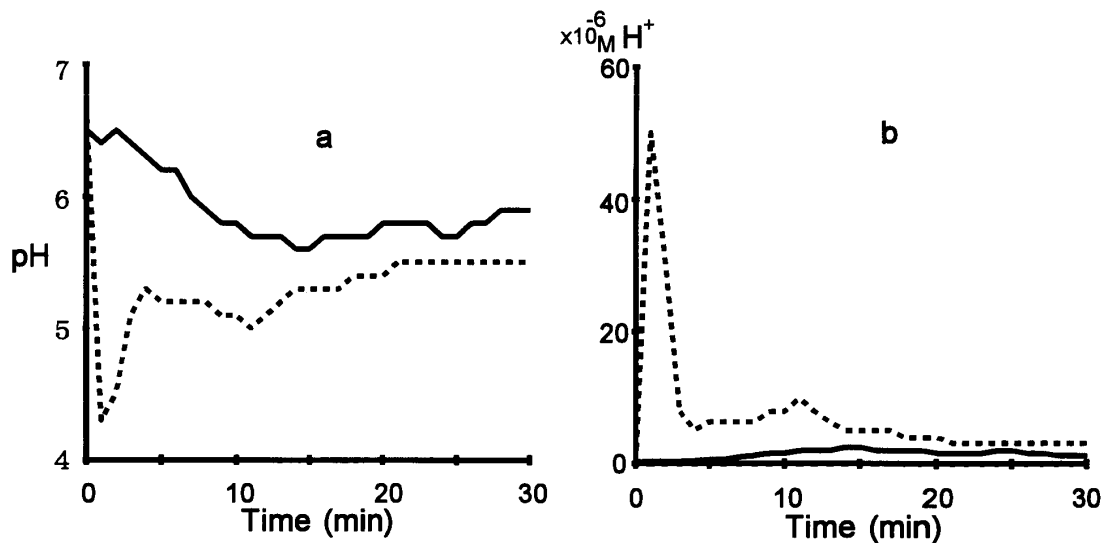


図3 クエン酸を含む飴をなめた場合と飴を溶かした溶液で洗口した時の歯垢 pH(a) および水素イオン濃度の変化 (b) (被験者 C)

-----: 飴溶解液で2分間洗口
——: 飴を6分間なめる

た。本研究では、さらに被験者の数を増やし、このような効果が個人差によるものではないことを確認した。

さらに、歯垢 pH 低下とその食品の齲蝕誘発性を関連づけるための評価方法について検討し、歯垢 pH の最低値、歯垢 pH の変化曲線の特異 pH (5.5, 6.0, 6.5)

以下の面積、歯垢 pH 変化曲線から求めた水素イオン濃度の総和について比較検討した。その結果、いずれの方法を採っても、飴にクエン酸を添加した場合には、クエン酸による歯垢 pH の低下 (水素イオン濃度の増加) に対する抑制効果が観察された (図1 a, b)。しかし、クエン酸を含む飴の溶液を摂取したときの歯垢

表3 飴をなめている時およびなめ終わった後の唾液の分泌速度 (ml/min)

被験者	安静時	なめているとき		なめ終わった後	
		クエン酸を含む飴	クエン酸を含まない飴	クエン酸を含む飴	クエン酸を含まない飴
A	0.6	3.5±0.8	2.7±0.3	0.8±0.3	0.7±0.2
B	0.8	5.6±1.8	3.7±0.3	1.1±0.4	1.1±0.2
C	0.6	4.3±0.8	3.1±1.6	0.6±0.1	0.7±0.2
D	0.5	4.6±1.0	3.6±0.8	1.1±0.3	0.9±0.2
平均値 ±SD	0.6±0.1	4.5±0.8	3.2±0.4	0.9±0.2	0.8±0.2
		*		NS	

統計学的有意差あり (p<0.001)

NS: 有意差なし

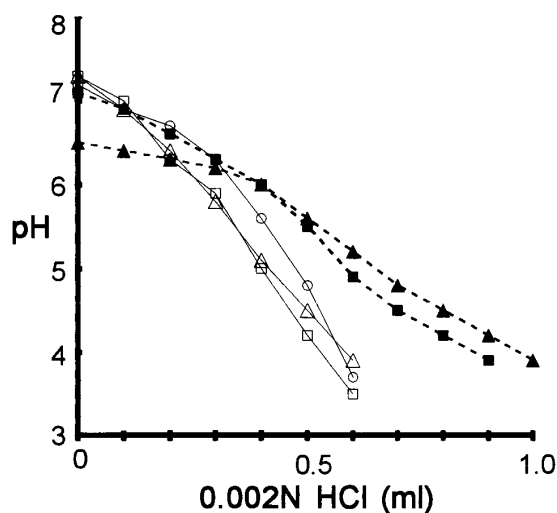


図4 安静時、飴をなめている時および飴をなめ終わった後の唾液の酸滴定曲線

- : 飴をなめる前の唾液 (安静時唾液)
- ▲-▲-: クエン酸を含む飴をなめている時の唾液 (なめ始めてから1分後に採取)
- : クエン酸を含まない飴をなめている時の唾液 (なめ始めてから1分後に採取)
- △-△-: クエン酸を含む飴をなめ終えてからの唾液 (なめ終えてから5分後に採取)
- : クエン酸を含まない飴をなめ終えてからの唾液 (なめ終えてから5分後に採取)

pH の変化と 10% スクロース溶液で洗口したときの歯垢 pH 変化を比較してみたところ、最低 pH の評価では飴の溶液を摂取したときの方が低かったのに対し、水素イオン濃度の総和では、スクロース溶液で洗口したときの方が大きかった(表 2 a, b)。このことは、飴の溶液を摂取したときには、一時的に歯垢 pH は低

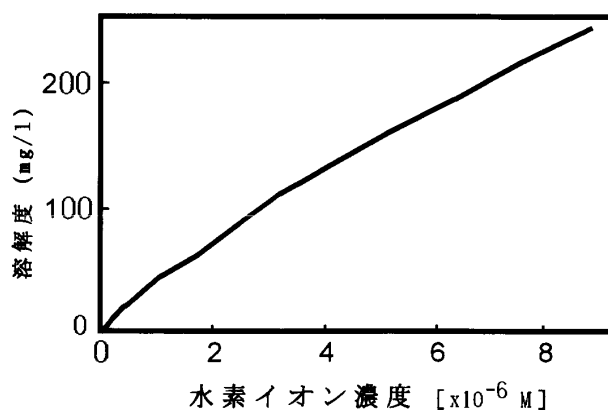
ヒドロキシアパタイトの溶解度
(Hagen, 1972)

図5 ヒドロキシアパタイトの溶解度と水素イオン濃度の関係

pH とヒドロキシアパタイトの溶解度に関する Hagen (1972) のグラフに基づく pH の値を水素イオン濃度に換算して改変した

くなるが、その持続時間が短いのに対し、スクロース洗口の場合には、歯垢 pH 低下の持続時間が長いことを示している。

pH とヒドロキシアパタイトの溶解度に関する Hagen (1972)²⁷⁾ のグラフに基づく pH を水素イオン濃度に換算して図示してみると(図 5)、ヒドロキシアパタイトの溶解度と水素イオン濃度は、ほぼ比例関係にあることがわかる。このことから考えると、最低 pH で評価するよりも、水素イオン濃度の総和で評価した方が齲蝕誘発性とより深い関連付けがなされるものと考えられる。

これまで、歯垢 pH 変化曲線の一定の pH 以下の面

積で食品の齲蝕誘発性(酸産生性)を評価しようとの試みが多くなされてきた^{7-9,28-31)}。本研究でも、pH 5.5, 6.0, 6.5 以下のそれぞれの面積を計算して、飴にクエン酸を添加する効果を評価しようと試みた。しかし、特に適切と思える評価基準は見つからなかった(表 1 b, 表 2 b)。ある特定の pH 以下の面積を求めるだけでは、pH の違いによるヒドロキシアパタイトの溶解度を無視することになり、この評価方法の大きな問題点であると考えられる。

飴を溶かした溶液を摂取したときは、その摂取直後に歯垢中の水素イオン濃度が著しく上昇した(図 3)。これに対し、飴自身をなめたときには、水素イオン濃度の著しい上昇はみられなかった。このことは、組成が同じ食品でも、その形態が違えば、その齲蝕誘発性も異なってくることを示しており、食品の齲蝕誘発性評価の方法に重要な示唆を与えるものと考えられる。

上記の結果は、唾液の分泌が歯垢の pH 変化に大きな影響を与えることを確認するものであるが、図 2 を見ると、飴にクエン酸を添加した効果は、むしろ飴をなめ終えた後に明瞭に見られることがわかる。飴をなめている時期とは異なり、この時期には、クエン酸を

添加した飴と添加しない飴をなめた場合で、唾液の分泌量やその緩衝能に違いがなかった(表 3, 図 4)。すなわち、クエン酸添加による唾液分泌の効果は、唾液の中和作用とともに、飴をなめているあいだの唾液分泌量の違いにより、口腔内あるいは歯垢内の糖の残存量が減り、そのために飴をなめ終えた後の歯垢内の水素イオン濃度に差が生じたと考えられる。

これらの結果も、水素イオン濃度の変化によって表現することで明瞭になり、齲蝕誘発性の評価の指標として歯垢 pH 変化の測定結果を用いる場合、齲蝕発生の理論から考えても、水素イオン濃度の変化として評価に用いることが最善ではないかと考えられる。

謝 辞

稿を終えるにあたり、御懇切な御指導、御検閲を賜りました本学口腔生化学講座山田 正教授、阿部一彦助教授に深甚なる謝意を表します。また、本研究を遂行するにあたり終始御教示いただきました本学口腔生化学講座高橋信博助手ならびに教室員各位、宮城県桃生郡鳴瀬町歯科診療所五十嵐公英博士に合わせて厚く感謝いたします。

内容要旨：歯垢における酸の産生は齲蝕の発生に必須の条件である。電極内蔵法を用いて、クエン酸を含む飴を摂取したときの酸産生性を検討した。飴にクエン酸を加えることにより歯垢の pH 低下が抑制されることについて前報(張平：東北大学歯学雑誌 14: 201-206, 1995)で報告した。今回は、さらに被験者の数を増やし、三つの評価方法、即ち、最低 pH 値、特定 pH (5.5, 6.0, 6.5) と pH 低下曲線で囲まれた部分の面積値、水素イオン濃度の変化に基づく値を用いて、クエン酸による抑制効果を確認した。今回用いた評価方法のうち、歯垢内水素イオン濃度の変化に基づく方法が食品の齲蝕誘発性を評価する上で最も適していると考えられた。クエン酸を含む飴を溶かした溶液を洗口したときには、飴そのものをなめたときよりも歯垢の pH が著しく低下した。このことは、組成が同じ食品でも、その形態が異なれば、齲蝕誘発性も異なることを意味する。また、歯垢 pH の変化に対して唾液が大きく影響することが明らかになった。今回の研究により、飴にクエン酸を加えた場合の抑制効果は唾液の緩衝作用とともに、分泌量が増加した唾液に希釈されて口腔内あるいは歯垢内の糖濃度が低下したことに基づくと考えられた。

文 献

- 1) 山田 正：齲蝕と食餌—どのような食品が齲蝕を起こすか—。歯界展望：別冊 齲蝕を考える。119-131, 1982.
- 2) 山田 正：「むし歯にならない」との表示はどのように決められるべきか。食品齲蝕誘発性の検定基準の設定に関する国際的動向(上, 下)。歯界展望 77: 1109-1119, 1377-1384, 1991.

- 3) 山田 正：歯垢の pH 変化と虫歯—トゥースフレンドリー協会の基本的な考え方—。月刊フードケミカル 4: 38-43, 1994.
- 4) Curzon, M.E.J.: Integration of methods for determining the cariogenic potential of foods: Is this possible with present technologies? J. Dent Res. 65: 1520-1524, 1986.
- 5) 金子俊之, 松久保隆, 池田康子, 高江州義矩, 弥武経也：ヒト歯垢 pH 測定によるイソマルトオリゴ

- 糖水添物の酸産生能の評価。口腔衛生学会雑誌 **43**: 464-465, 1993.
- 6) Shibasaki, K., Sato, H., Matsukubo, T. and Takaesu, Y.: pH response of human dental plaque to chewing gum supplemented with low molecular chitosan. *Bull. Tokyo Dent. Coll.* **35**: 61-66, 1994.
- 7) Pollard, M.A., Duggal, M.S. and Curzon, M.E.J.: The effect of different concentration of citrate in drinks on plaque pH. *Caries Res.* **27**: 191-194, 1993.
- 8) Duggal, M.S., Tahmassebi, J.F. and Pollard, M.A.: Effect of addition of 0.103% citrate to a blackcurrant drink on plaque pH in vivo. *Caries Res.* **29**: 75-79, 1995.
- 9) Igarashi, K., Lee, I.K. and Schachtele, C.F.: Effect of chewing gum containing sodium bicarbonate on human interproximal plaque pH. *J. Dent Res.* **67**: 531-535, 1988.
- 10) 張 平: 飴にクエン酸を添加した場合の歯垢 pH の変化に及ぼす影響。東北大学歯学雑誌 **14**: 201-206, 1995.
- 11) 山田 正, 五十嵐公英: 歯垢下 pH 測定による齲蝕誘発性の評価。歯界展望 **57**: 847-855, 1981.
- 12) Imfeld, T.N.: Identification of low caries risk dietary components. S. Karger AG, P.O. Box, CH-4009 Basel (Switzerland), 1983.
- 13) 今井 奨, 西沢俊樹, 樋出守世, 松久保隆: ヒト口腔におけるキシロシルフルクトシドの発酵性。口腔衛生学会雑誌 **44**: 434-435, 1994.
- 14) 松久保隆, 北村雅保, 高江洲義矩: ヒト歯垢 pH 測定による trehalulose の酸産生能の評価。口腔衛生学会雑誌 **45**: 710-711, 1995.
- 15) Schachtele, C.F. and Jensen, M.E.: Comparison of methods for monitoring changes in the pH of human dental plaque. *J. Dent Res.* **61**: 1117-1125, 1982.
- 16) Igarashi, K., Lee, I.K. and Schachtele, C.F.: Effect of dental plaque age and bacterial composition on the pH of artificial fissures in human volunteers. *Caries Res.* **24**: 52-58, 1990.
- 17) Igarashi, K., Lee, I.K. and Schachtele, C.F.: Comparison of in vivo human dental plaque pH changes within artificial fissures and at interproximal sites. *Caries Res.* **23**: 417-422, 1989.
- 18) 池田康子, 松久保隆, 高江洲義矩: パラチノースおよびグルコースの混合溶液および錠剤のヒト歯垢 pH 測定による酸産生能評価。口腔衛生学会雑誌 **43**: 466-467, 1993.
- 19) 千田隆一: 電極内蔵法による小児および成人での歯垢内酸産生能に関する研究。2. 乳糖による歯垢の pH 変化ならびに電極表面に形成された歯垢の細菌的検討。小児歯科学雑誌 **22**: 811-827, 1984.
- 20) 五十嵐公英: 特殊微小 pH 電極による砂糖溶液摂取後の口腔内歯垢下 pH 変化の測定。小児歯科学雑誌 **18**: 385-392, 1980.
- 21) Imfeld, T. and Muhlemann, H.R.: Cariogenicity and acidogenicity of food, confectionery and beverages. *Pharmacol. Ther. Dent.* **3**: 53-68, 1978.
- 22) Newbrun, E.: *Cariology* (3rd ed.). Quintessence Publishing Co, Inc, Chicago, 1989.
- 23) 高橋信博: 電極内蔵法 (In-dwelling electrode method) を用いた歯垢の糖代謝活性の測定。東北大学歯学雑誌 **6**: 91-98, 1987.
- 24) 畑 弘子: 迅速 pH テレメトリー法による歯垢の酸産生率の測定と歯垢における乳糖の代謝誘導。小児歯科学雑誌 **33**: 763-773, 1995.
- 25) 張 平, 阿部一彦, 山田 正: 日本で市販されている口中錠の歯垢内酸産生性—電極内蔵法による歯垢 pH の測定—。東北大学歯学雑誌 **14**: 75-81, 1995.
- 26) 千田隆一: 電極内蔵法による小児および成人での歯垢内酸産生能に関する研究。1. 歯垢下 pH 測定装置と電極表面に形成された歯垢の走査電子顕微鏡による観察。小児歯科学雑誌 **22**: 125-136, 1984.
- 27) Hagen, A.R.: The state of fluorine in dentifrice systems. *Acta Odont. Scand.* **30**: 167-186, 1972.
- 28) Edgar, W.M. and Geddes, D.A.M.: Plaque acidity Models for Cariogenicity testing—some theoretical and practical observations. *J. Dent Res.* **65**: 1498-1502, 1986.
- 29) Harper, D.S., Abelson, D.C. and Jensen M.E.: Human plaque acidity models. *J. Dent Res.* **65**: 1503-1510, 1986.
- 30) Lingstrom, P., Imfeld, T. and Birkhed, D.: Comparison of three different methods for measurement of plaque-pH in humans after consumption of soft bread and potato chips. *J. Dent Res.* **72**: 865-870, 1993.

- 31) Imfeld, T., Birkhed, D. and Lingstrom, P.: Effect of urea in sugar-free chewing gums on pH recovery in human dental plaque evaluated with three different methods. Caries Res. **29**: 172-180, 1995.